УДК 001.83

Терехов Александр Иванович,
кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН,
тел.: (499) 724-25-62,
e-mail: a.i.terekhov@mail.ru

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЯ «УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ»: ПОКАЗАТЕЛИ СОАВТОРСТВА

1. Введение

Нанотехнология (НТ) – первая глобальная исследовательская инициатива XXI века. Когда в начале 2000-х годов она стала приоритетом научной политики многих стран, это сопровождалось не только запуском множества взаимосвязанных программ и проектов, но и расширением возможностей для научного сотрудничества. Учитывая междисциплинарный характер НТ, делая ставку на конвергенцию ранее отдельных областей нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий, нанотехнологические инициативы стран, как правило, предусматривают межведомственную внутреннюю кооперацию, широкое международное сотрудничество. В результате в научной среде по существу происходит культурный сдвиг от «исследования в бункере» к «исследованию без границ». Каково влияние этого сдвига на характер, схемы и интенсивность сотрудничества, а последнего на научную продуктивность? – вопросы, которые на примере НТ представляют серьезный предмет для изучения. С этой целью часто используют библиометрические методы, исследующие научное сотрудничество на основе соавторства. Хотя между первым и вторым нет тождества, соавторство является одной из наиболее зримых и хорошо документированных форм сотрудничества ученых, которая позволяет надежно отслеживать почти каждый аспект сетей научного сотрудничества [1].

В настоящей статье на основе поиска в базе данных Science Citation Index Expanded (БД SCIE)мы рассчитаем ряд библиометрических показателей для анализа сотрудничества российских ученых в таком важном направлении, как «углеродные наноструктуры». Действительно, мировая углеродная «наногонка» стала одним из центральных эпизодов в развитии НТ. По мнению японского ученого Э. Озава (одного из основоположников науки о фуллеренах), если бы не было открытия фуллеренов в 1985 г. и углеродных нанотрубок (УНТ) в 1991 году, то появление нанотехнологии могло быть отсрочено, по крайней мере, на несколько десятилетий [2]. В 2004 году к ним присоединился графен. На момент настоящего исследования в декабре 2012 года статьи,

сообщающие об открытии этих углеродных наноструктур, по количеству ссылок в БД SCIE занимали 96-е, 16-е и 83-е места соответственно, причем за предшествующий год статья С. Ииджимы об открытии УНТ поднялась с 33-го на 16-е место. В поиске и изучении новых форм углерода российские и советские ученые традиционно поддерживали высокий уровень и нередко достигали опережающих результатов. Так, углеродные нанотрубки впервые наблюдались с помощью электронного микроскопа еще в 1952 году учеными из Института физической химии АН СССР; в 1973 году с помощью квантово-химических расчетов была показана стабильность молекулы C_{60} в форме усеченного икосаэдра (Институт элементоорганических соединений АН СССР); в конце 1991 года в Институте биохимической физики РАН была выдвинута идея о возможных иных, чем известный уже тогда фуллерен, полых углеродных структурах, которая была подтверждена оригинальным методом приготовления пленок, содержащих УНТ; в 1994 году группа ученых из Института радиотехники и электроники РАН впервые доложила о высокоэффективной полевой эмиссии электронов с нанотрубок (подробнее см. [3]). Наконец, в открытии графена решающая роль за учеными из Института проблем технологий микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (ИПТМ РАН), двое из которых (будущие нобелевские лауреаты) на момент открытия эмигрировали из страны[1]. Можно добавить, что метод получения детонационных наноалмазов и технология получения нанопористого углерода разработаны советскими учеными [4]. По совокупному публикационному вкладу в данную область в период 1990–2011 годов Россия согласно БД SCIE 6-я в мире. Таким образом, углеродные наноструктуры – одно из важнейших направлений развития НТ в нашей стране, представляющее интерес как для исторических исследований, так и библиометрического анализа. Здесь мы продолжим начатый ранее [5] подобный анализ, уделив внимание такому важному для НТ феномену, как научное сотрудничество.

2. Некоторые общие библиометрические показатели развития направления

Для поиска в БД SCIE был разработан специальный запрос из 29 отобранных поисковых терминов, тематически охватывающих: фуллерены и их производные, УНТ, графен, наноалмазы, другие формы наноугле-

[1] А. К. Гейм (1958 г. рожд.), в 1982 г. окончил МФТИ, в 1990 году эмигрировал, долгое время работал в Неймегене (Нидерланды). К. С. Новоселов (1974 г. рожд.), в 1997 году окончил МФТИ, в 1999 году уехал в Неймеген работать вместе с Геймом. С 2001 года Гейм и Новоселов работают в Манчестерском университете (Великобритания). В 2004 г. они открыли новую модификацию углерода – графен (публикация в Science), за что им была присуждена Нобелевская премия по физике 2010 года (прим. редакции).

рода, такие как нановолокна, онионы и т. д. Поиск по ключевым словам, содержащимся в названиях, выявил 85 987 релевантных публикаций за период 1990–2011 годов. Число публикаций с российским авторством / соавторством в этом массиве – 4735, что составляет около 5,5%. На рис. 1 показана динамика публикационной активности Топ-6 стран по совокупному публикационному вкладу за весь период.

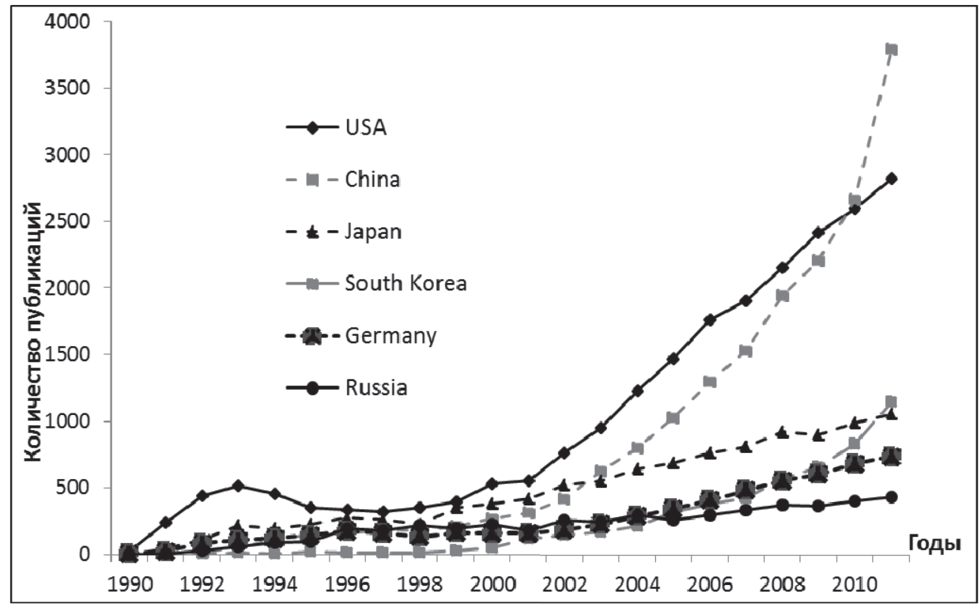


Рис. 1. Публикационный выход по годам стран с наибольшим вкладом в области углеродных наноструктур

Из рисунка видно, что бурный рост направления с интенсивным соперничеством стран начался с 2000 года в связи с провозглашением НТ в качестве государственного приоритета многими из них. Если условно разделить Топ-6 на соперничающие пары, то можно отметить: впечатляющую гонку, в ходе которой Китай обошел США и стал лидером; что Южная Корея, стартовав позднее всех, сумела обойти Японию, а Германия уверенно оставила позади Россию. В дополнение, Россия с 2008 года выбыла и из лидирующей шестерки, пропустив к 2011 году вперед Великобританию, Францию, Индию и Иран. Это, конечно, не умаляет ее общего вклада, а лишь подчеркивает, что сделанные согласно принятой в 2007 году «Стратегии развития наноиндустрии» массированные финансовые вливания уже не способны подстегнуть научный комплекс и принести ожидаемую быструю отдачу даже в такой в целом успешной для страны нанообласти.

В табл. 1 и 2 приведены некоторые выходные библиометрические показатели на институциональном и индивидуальном уровнях.

Таблица 1. Наиболее продуктивные российские институты в области углеродных наноструктур, 1990–2011 годы

Ранг	Институт	Количество публикаций	Среднее число ссылок на одну публикацию	Индекс Хирша
1	МГУ	605	14,4	42
2	ФТИ РАН	534	8,7	30
3	ИПХФ РАН	353	8,9	26
4	ИНЭОС РАН	259	8,7	20
5	ИФТТ РАН	228	6,9	21
	ИПТМ РАН	42	501,9	24

Примечание: МГУ – Московский государственный университетим. М. В. Ломоносова; ФТИ РАН – Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН; ИПХФРАН – Институт проблем химической физики РАН; ИНЭОС РАН – Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН; ИФТТ РАН – Институт физики твердого тела РАН.

В мировом рейтинге университетов по количеству публикаций в области за весь период МГУ на 16-ом месте, а ИПТМ РАН – рекордсмен по цитируемости, правда, лишь на небольшом числе работ. Среди научных организаций мира РАН вторая после Академии наук Китая: 3358 против 3590 публикаций за весь период. Сравнение по цитируемости, к сожалению, также не в пользу РАН: 15,2 против 22,5 в среднем ссылок на статью.

Таблица 2. Наиболее продуктивные российские ученые в области углеродных наноструктур, 1990–2011 годы

ФИО	Институт	Количество публикаций	Среднее число ссылок на одну публикацию	Индекс Хирша
1. Болталина О. В.	МГУ	165	20,3	32
2. Любовская Р. Н.	ИПХФ РАН	130	13,7	22
3. Окотруб А. В.	ИНХ СО РАН	109	8,0	15
4. Конарев Д. В.	ИПХФ РАН	107	13,5	21
5. Чернозатонский Л. А.	ИБХФ РАН	103	14,3	21
Морозов С. В.	ИПТМ РАН	23	875,2	19

Примечание: ИНХ СО РАН – Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН; ИБХФ РАН – Институт биохимической физики им. Н. М. Эммануэля РАН.

Заметим, что О. В. Болталина, на счету которой еще 25 публикаций, не аффилированных с Россией, входит в мировую десятку ученых, наиболее продуктивных в области углеродных наноструктур. В том, что ряд библиометрических показателей углеродного направления выше общего уровня для НТ, немаловажна роль соавторских связей, отражающих, в частности интеграцию российского исследователей в мировое сообщество.

3. Показатели сотрудничества на основе соавторства

Российские публикации в области углеродных наноструктур имеют от 1 до 19 авторов. В табл. 3 приведены соответствующие распределения для полного и двух полупериодов, а также величина средней цитируемости по размеру авторского коллектива для публикаций 2005–2007 годов.

Таблица 3. Распределение российских публикаций в области углеродных наноструктур по количеству авторов; цитируемость публикаций с разным количеством авторов

Количество авторов	Число / доля публикаций						Средняя цитируемость публикаций 2005–2007 гг.*
	1990–2011 гг.		1990–2000 гг.		2001–2011 гг.		
	Число	%	Число	%	Число	%	
1	296	6,3	87	6,8	209	6,1	8,8
2	679	14,3	170	13,3	509	14,7	11,3
3	794	16,8	218	17,0	576	16,7	10,8
4	758	16,0	246	19,2	512	14,8	5,7
5	650	13,7	179	14,0	471	13,6	9,5
6	525	11,1	145	11,3	380	11,0	7,9
7	389	8,2	98	7,7	291	8,4	18,6
8	246	5,2	57	4,5	189	5,5	17,5
9	152	3,2	38	3,0	114	3,3	34,8
≥10	246	5,2	41	3,2	205	5,9	15,0
Всего	4735	100,0	1279	100,0	3456	100,0	11,6

* *Примечание*: При расчете были исключены три статьи по графену с «пиковой» цитируемостью 4871, 1623 и 1389 раз и количеством авторов: 8, 7 и 7 соответственно.

Из таблицы следует, что 93,7% всех публикаций являются совместными и только 6,3% написаны одним автором. Наиболее высока доля (16,8%) публикаций, имеющих трех авторов. В период 2001–2011 годов по сравнению с периодом 1990–2000 годов произошло некоторое перераспределение в пользу публикаций с семью и более авторами за счет остальных, исключая лишь публикации с двумя авторами. В результате среднее число авторов на публикацию выросло до 4,8 с 4,5 в предыдущий период. С 2001 года этот показатель варьировался по годам в интервале от 4,5 до 5,0 и составил, например, в 2007 году – 4,7, в 2011 году – 5,0. Для сравнения: среднее число авторов на публикацию, индексируемую Thomson Reuters, выросло с 3,8 в 2007 до 4,5 в 2011 году [6], т. е. по этому показателю российские публикации находятся в мировом тренде, даже с небольшим превышением. Однако средний показатель не делает различий для публикаций с разными уровнями соавторства; в этом отношении более совершенен коэффициент сотрудничества (КС), определяемый формулой:

$$КС = 1 - \left(\sum_{j=1}^{A} \tfrac{1}{j} f(1)\right)/N,$$

где N – количество публикаций в данной выборке; *f*(*j*) – количество публикаций, имеющих j авторов; A – максимальное количество авторов одной публикации из данной выборки. Рассчитанный для российских публикаций в области углеродных наноструктур КС≈0,697 (0,691 и 0,700 для периодов 1990–2000-х и 2001–2011-х годов соответственно). Эти значения превышают, например, значения аналогичного коэффициента для индийских публикаций в области НТ в 1990–2009 годы [7]. У продуктивных организаций и ученых показатель сотрудничества, как правило, выше среднего уровня. Так, МГУ имеет КС≈0,760 (0,747 и 0,765 для периодов 1990–2000-х и 2001–2011-х годов соответственно). У О. В. Болталиной КС≈0,818. С другой стороны, многоавторство способствует повышению в среднем цитируемости публикаций. Так, если совокупность публикаций 2005–2007 годов разделить примерно по медиане: на публикации, имеющие от одного до четырех и более четырех авторов, то средняя цитируемость публикации в первой группе составит примерно 9,3, а во второй – 13,9 раз. Однако эта зависимость проявляется не монотонно. Например: минимум цитируемости приходится на публикации с четырьмя авторами, далее следуют публикации с шестью, затем одним автором (см. последний столбец табл. 3). Заметим, что многоавторство может сопутствовать проявлению других влияющих на цитируемость факторов. В подтверждение разделим публикации 2005–2007 годов, имеющие двух и более авторов, на полностью российские (459) и имеющие международное соавторство (378). Средняя цитируемость публикации в первой группе составляет 5,1, а во второй – 19,8 раз, т. е. в нашем случае многоавторство приводит к большей цитируемости на уровне средних лишь в сочетании с международным соавторством. Добавим, что статьи по графену с наивысшей цитируемостью (более 1000 ссылок) также имеют международное соавторство.

Как уже отмечалось, для НТ характерно более интенсивное международное сотрудничество ученых, что подтверждают библиометрические данные. Так, если из всех российских публикаций за 1990–2011 годы, содержащихся в БД SCIE, лишь 29,1% имели международное соавторство, то для публикаций в области НТ эта доля составляла 41,1%. Рассмотрим более подробно международное соавторство российских ученых в выбранном научном направлении. За период 1990–2011 годов у России (СССР до 1992 года) 4735 публикаций в области углеродных наноструктур со средней цитируемостью 14,0. Из них: 3029 публикаций только российские со средней цитируемостью 6,2, а 1706 (36%) имеют зарубежных соавторов и среднюю цитируемость 27,8. Россия имеет соавторские связи с более, чем 60-ю странами, причем наиболее тесные с Германией (8,2% публикаций), США (7,0%), Англией (4,6%), Францией (3,5%), Японией (3,5%). Наиболее высока цитируемость совместных работ с учеными из Англии за счет сотрудничества в исследовании графена.

Доля международного соавторства в публикациях лидеров направления – МГУ и ФТИ РАН – составила в 2000–2011 годах 55,9% и 40,9% соответственно, поэтому остановимся кратко на его схемах. В силу многодисциплинарного характера исследований (в которых участвуют представители разных факультетов: химического, физического, наук о материалах), а также специфики учебного заведения международные соавторские связи МГУ более обширны и многообразны. Они охватывают 30 стран, среди которых Германия (24,6% совместных публикаций), США (14,6%), Англия (9,7%). ФТИ имеет соавторские связи с учеными из 28 стран, среди которых США (10,8% совместных публикаций), Германия (9,8%), Швеция (6,5%). Отметим, что у ФТИ более активны связи с учеными из республик бывшего СССР (Украина, Беларусь, Узбекистан, Таджикистан, Литва, Эстония). На рисунках 2 и 3 показано зарубежное сотрудничество МГУ и ФТИ на уровне организаций. Естественно, что у МГУ более интенсивны связи с зарубежными университетами, в то время, как ФТИ сотрудничает и с академическими институтами (например, в Украине и Узбекистане) и в большей степени, чем МГУ, с корпоративным сектором. Значительный вклад в публикационный массив и соавторские связи с Университетом Гумбольдта (Германия), Университетом Колорадо (США), Сассекским университетом (Англия) внесла Лаборатория термохимии МГУ, проводящая исследования в области фуллеренов и их производных. Представитель этой Лаборатории О. В. Болталина вошла в мировую десятку ученых, наиболее продуктивных в области углеродных наноструктур. Толчком развитию сотрудничества ФТИ с Университетом Умео (Швеция) послужило получение в 1998 г. позиции постдока исследователем из Лаборатории физики кластерных структур ФТИ Т. Л. Макаровой, занимающейся изучением свойств фуллерена. К сожалению, О. В. Болталина и Т. Л. Макарова, обеспечившие значительное число совместных публикаций МГУ с Университетом Колорадо и ФТИ с Университетом Умео, в последние годы уже не аффилируют себя с российскими организациями.

Составим по БД SCIE краткий «библиометрический портрет» О. В. Болталиной, окончившей химический факультет МГУ в 1982 году. С 1993 года основным предметом ее научного интереса стали фторпроизводные фуллерена. Имеет по теме 165 публикаций, аффилированных с Россией, по количеству публикаций в области углеродных наноструктур входит в мировую десятку ученых за период 1990–2011 годов. Верхняя кривая (рис. 4) показывает, что она продолжает оставаться активным ученым, однако, согласно нижней кривой ее вклад в российскую «копилку» публикаций по углеродным наноструктурам завершен. Максимальный рост продуктивности пришелся на первую половину 2000-х годов, после чего она стала несколько затухать и вновь ускорилась уже в последние годы в Университете Колорадо.



Технический ун-т Дрездена, Германия

Киевский национальный ун-т, Украина

Ун-т Уорик, Англия

Ун-т Гумбольдта в Берлине, Германия

Ун-т Колорадо, США

Сассекский ун-т, Англия

НИИ твердого тела и материалов Лейбница, Германия

48

41

33

24

Ун-т города Тур, Франция

МГУ

487

Научно-технический ун-т Китая

14

19

Ун-т Йоэнсуу, Финляндия

Свободный ун-т Берлина, Германия

12

20

Ин-т нано-технологии в Карлсруэ, Германия

Ун-т Саутгемптона, Англия

Оксфордский ун-т, Англия

Международ-ный ун-т Флориды, США

Рис. 2. Соавторские связи МГУ в исследовании углеродных наноструктур с зарубежными организациями, 2000–2011 годы (вдоль линий указано количество совместных публикаций; отсутствие надписи соответствует интервалу от 5 до 9 публикаций)

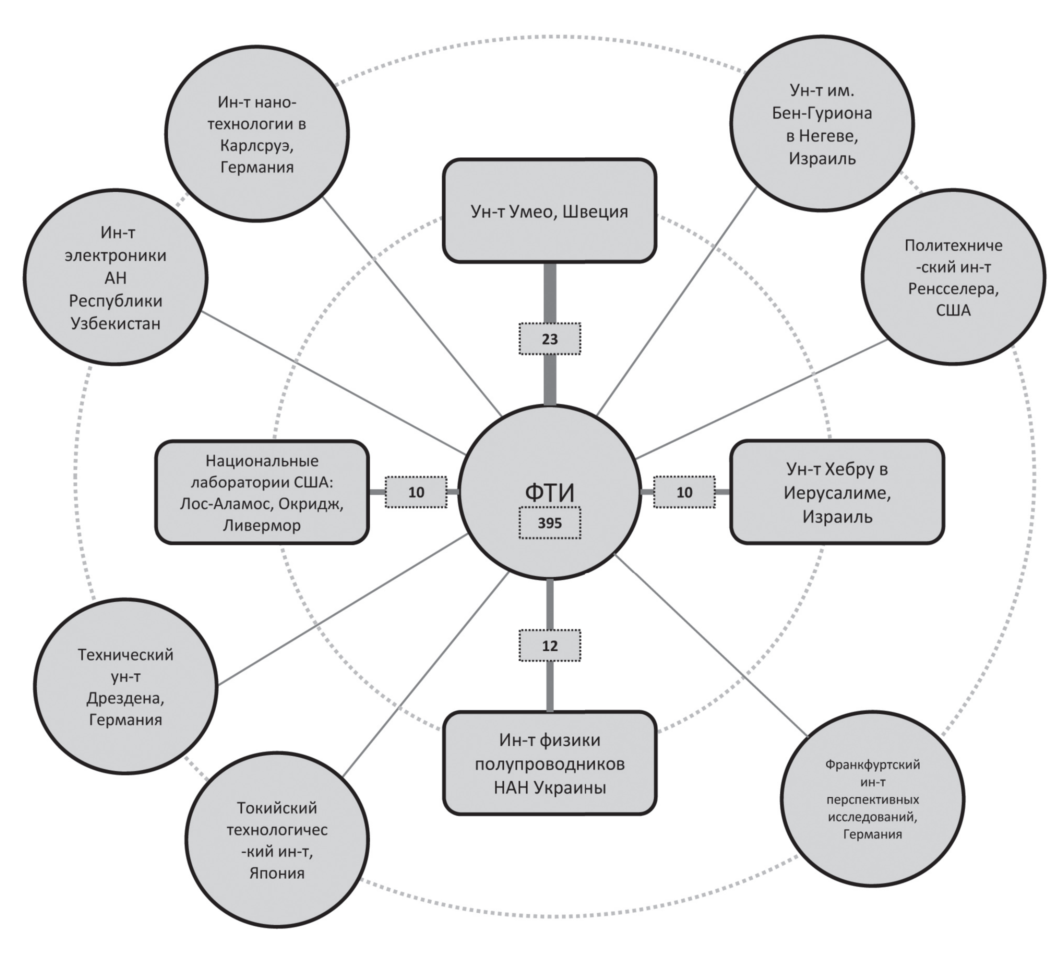


Рис. 3. Соавторские связи ФТИ РАН в исследовании углеродных наноструктур с зарубежными организациями, 2000–2011 годы (вдоль линий указано количество совместных публикаций; отсутствие надписи соответствует интервалу от 5 до 9 публикаций)

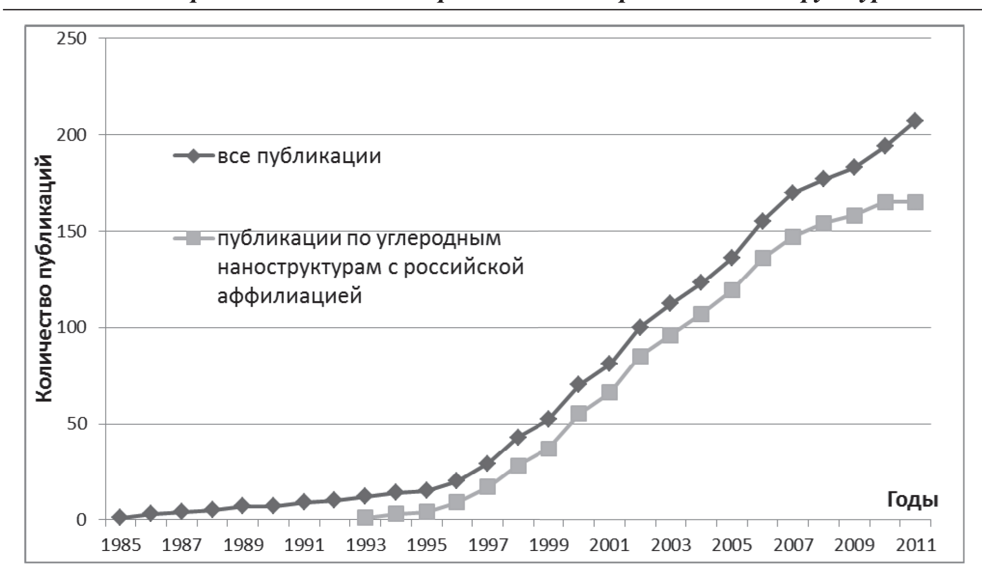


Рис. 4. Количество публикаций О. В. Болталиной в БД SCIE кумулятивно, 1985–2011 годы

Из 165 публикаций лишь одна – индивидуальная, в 37 публикациях (22,4%) О. В. Болталина – первый автор. Рассчитаем коэффициент сотрудничества (КС) в разные возрастные периоды ученого:

25–32 лет (до изучения углеродных наноструктур) – 0,727,

33–38 лет (начало работ по углеродным наноструктурам) – 0,778,

39–44 лет (быстрый рост публикационной активности) – 0,796,

45–50 лет (научная зрелость в выбранном направлении) – 0,864.

Отчетливо виден рост соавторских связей по мере развития научной карьеры, бóльшая часть которой посвящена исследованию углеродных наноструктур. Соавторская сеть О. В. Болталиной за весь период включает около 250 ученых, среди которых более половины иностранцы, в том числе С. Страусс (Университет Колорадо), Р. Тейлор (Сассекский университет). Из российских ученых наиболее тесны соавторские связи с Л. Н. Сидоровым (научный руководитель О. В. Болталиной в Лаборатория термохимии МГУ) и И. В. Кувычко (ее ученик, работающий в настоящее время вместе с ней вУниверситете Колорадо). Интересно, что авторские коллективы, где О. В. Болталина – первый соавтор, менее многочисленны (КС≈0,770), чем те, где она не на первой позиции (КС≈0,832). Это может означать частое участие в крупных коллаборациях, возглавляемых более авторитетными учеными.

Таким образом, рассмотренную область характеризует высокая доля соавторских публикаций, которые по средней цитируемости превосходят одноавторские. Среди многоавторских публикаций 2005–2007 годов доля имеющих только российское соавторство – 55%, а их средняя цитируемость (5,1) даже меньше, чем у одноавторских (8,8). У публикаций с международным соавторством (их доля – 45%) средняя цитируемость (19,9) почти в 4 раза выше, чем у только российских, т. е. международ-

ное соавторство играет для цитируемости ключевую роль, внутрироссийское же не делает публикации более видимыми. Международные соавторские связи в большой степени способствовали продуктивности отечественных лидеров в области углеродных наноструктур, например, МГУ и его представителя О. В. Болталиной. Однако нередко они приводили к эмиграции талантливых российских ученых. Отметим, что в последние годы ухудшается не только рейтинг России по количеству публикаций, но и доля публикаций с международным соавторством, а это, как следует из сказанного, не благоприятствует их цитируемости в будущем.

4. Заключение

Сотрудничество, включая его международный аспект, стало характерной чертой современной науки, предметом целенаправленного стимулирования в научной политике, например, такой организации, как Европейский союз. На Западе изучение этого феномена в том числе с применением библиометрии началось достаточно давно, вместе с тем в отечественной литературе ему пока еще не уделено должного внимания. НТ как глобальная исследовательская инициатива увеличивает масштабы научного сотрудничества, придает ему новые качественные особенности. Достаточно отметить, что в развитии углеродного направления НТ в 1990–2011 годах участвовали более ста государств, а доля российских публикаций в БД SCIE, имеющих международное соавторство превысила 36%. Учитывая значительный исторический и библиометрический вклад российской научной школы, это направление было выбрано для изучения соавторских связей отечественных ученых, их интеграции в мировое нанотехнологическое сообщество. Показаны рост уровня сотрудничества, его международное измерение, связь с научной продуктивностью. Установлено, например, что исключительно российское многоавторство в целом не дает преимуществ в терминах цитируемости публикаций и в этом смысле не может быть предметом специального стимулирования. Более углубленные исследования, в том числе сравнительные (по научным областям) смогут дать в дальнейшем полезную информацию для принятия решений.

Литература

1. *Glanzel W., Schubert A.* Analyzing scientific networks through co-authorship // Handbook of Quantitative Science and Technology Research / H. Moed, W. Glanzel, U. Schmoch (eds.). New York: Kluwer Academic Publishers, 2004. Ch. 11. P. 257–276.
2. *Ozava M., Osawa E.* Carbon blacks as the source materials for carbon nanotechnology // Carbon Nanotechnology: Recent Developments in Chemistry, Physics, Materials Science and Device Applications / L. Dai (ed.). Amsterdam: Elsevier. 2006. Ch. 6. P. 127–151.

3. *Терехов А. И.* Наукометрический анализ (на примере развития наноматериалов в России и за рубежом) // Экономические проблемы развития революционных технологий. Нанотехнологии / В. Л. Макаров, А. Е. Варшавский (ред.). М.: Наука. 2012. Гл. 12. С. 270–301.
4. *Вуль А. Я.* Наноуглерод: исследование и применение. 04.12.2007 // URL: www.nanojournal.ru/events.aspx?cat_id=227&d_no=450.
5. *Terekhov A. I., Efremenkova V. M., Stankevich I. V., Krukovskaya N. V., Terekhov A. A.* Information resources for evaluating the development of research direction – 'Fullerenes' // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. 2006. Vol. 14. № 2–3. P. 579–584.
6. *King C.* Multiauthor papers: Onward and upward. July 2012 // URL: http://archive.sciencewatch.com/newsletter/2012/201207/multiauthor_papers/.
7. *Karpagam R., Gopalakrishnan S., Natarajan M., Ramesh B*. Mapping of nanoscience and nanotechnology research in India: A scientometric analysis, 1990–2009 // Scientometrics. 2011. Vol. 89. № 2. P. 501–522.